



Citation	De Meester, J., De Cock, M., Knipprath, H., Dehaene, W. (2015), Een nieuwe didactiek, richting abstract, geïntegreerd STEM-onderwijs, <i>Impuls – tijdschrift voor onderwijsbegeleiding</i> , 46(1), 3-11.
Archived version	Author manuscript: the content is identical to the content of the published paper, but without the final typesetting by the publisher
Published version	https://www.acco.be/nl-be/items/TED00216/Impuls-Jaargang-2015-2016-nr--1
Journal homepage	https://www.acco.be/nl-be/items/TAB000086/Impuls-Jaargang-2016-2017---enkel-abonnement
Author contact	Jolien.DeMeester@esat.kuleuven.be + 32 (0)16 325591

(article begins on next page)



Een nieuwe didactiek, richting abstract, geïntegreerd STEM-onderwijs

De Meester, J., De Cock, M., Knipprath, H., Dehaene, W.

Inleiding

Het woord 'STEM' echoot door het Vlaamse onderwijslandschap en vindt steeds meer weerklank in initiatieven van scholen en nieuwe onderwijsvisies. STEM staat voor *Science, Technology, Engineering & Mathematics*. Het Vlaamse onderwijs wordt stilaan gewaar dat het niet meer kan voldoen aan de steeds groeiende vraag naar de wetenschappers, technici en ingenieurs waar de industrie zo naar snakt (Vacature, 2010 & 2012).

Het tekort aan mensen met een STEM-diploma kan toegeschreven worden aan verschillende oorzaken, waaronder het feit dat jongeren de relevantie van wetenschappen en wiskunde niet inzien, waardoor ze ook geen idee hebben van wat een STEM-job precies inhoudt (Sjøberg & Schreiner, 2010; Van den Berghe & De Martelaere, 2012). Een mogelijke reden hiervoor zou kunnen gevonden worden in de wijze waarop deze vakken in een aantal studierichtingen van het Secundair Onderwijs worden onderwezen: eerder geïsoleerd van elkaar. De vraag naar een vernieuwende didactiek, waarin meer dan ooit banden worden gesmeed tussen de verschillende STEM-disciplines, dringt zich op. Maar ook binnen de STEM-domeinen zelf kan vanuit een breder perspectief op sociale en maatschappelijke toepassingen worden lesgegeven. Door jongeren op deze manier conceptuele inzichten te doen verwerven in en over verschillende contexten en hen gevarieerde manieren van probleemoplossend denken aan te leren, worden ze klaargestoomd voor een steeds meer innoverende, hoogtechnologische maatschappij. *Abstracte, geïntegreerde STEM* introduceren in het Secundair Onderwijs, daarin ligt volgens ons de belofte tot een meer verantwoorde attitude van jongeren tegenover wetenschappen, wiskunde en technologie. Ongetwijfeld is STEM-geletterdheid belangrijk voor iedereen, maar beginnen met de implementatie van deze nieuwe didactiek voor geïntegreerde STEM doen we alvast in de richtingen die zich richten op sterk wetenschappelijk, wiskundig of technisch aangelegde leerlingen in ASO en TSO.

Dit artikel belicht de aanloop naar ons onderzoek rond didactiek van abstracte, geïntegreerde STEM: wat houdt dit soort STEM-onderwijs volgens ons in, en welke verschillende aspecten zijn verbonden aan het ontwikkelen en implementeren ervan? Welke leerresultaten hopen we aan het einde van de rit te verkrijgen bij de leerlingen?

Aan het begin van dit artikel wordt de aanleiding besproken: de te lage uitstroom uit STEM-richtingen in het Secundair Onderwijs. De resultaten van de ROSE-studie, die in het tweede deel besproken worden, reiken hiervoor een duidelijke reden aan: het feit dat jongeren de relevantie van wetenschappen en wiskunde niet inzien. In het derde deel wordt onze visie op de didactiek van geïntegreerd STEM-onderwijs uit de doeken gedaan aan de hand van de verschillende principes waarop ze stoelt. Om de ontwikkeling en uitrol van deze nieuwe didactiek, zoals ze voorgesteld wordt in dit artikel, te ondersteunen en te valideren, is het project 'STEM@school' opgezet door verschillende partners. Het artikel sluit af met de objectieven, het samenwerkingsconcept, de invulling en de planning op langere termijn van dit nieuwe project in het kader van Strategisch Basisonderzoek (SBO).

1. Uitstroom uit STEM-richtingen in het SO

De mismatch tussen vraag en aanbod van STEM-profielen kent een kwantitatieve en een kwalitatieve oorzaak. Zo behaalt 40% van de leerlingen een STEM-diploma in het Vlaamse Secundair Onderwijs. 27% van de schoolverlaters kiest voor een STEM-richting in het Hoger Onderwijs, maar slechts 19% van de gediplomeerden uit de hogescholen en universiteiten zwaait af met een STEM-diploma. Bovendien beschikken jongeren die afstuderen met een STEM-diploma vaak niet over de door de industrie gewenste competenties (Van den Berghe & De Martelaere, VRWI, 2012).

Nochtans scoort de Vlaamse leerling niet slecht op de internationale PISA-testen: 25,3% van de Vlaamse 15-jarigen behoort tot de toppers op vlak van *wiskundige geletterdheid*; dit is 12,7% meer dan het internationale gemiddelde en enkel China, Singapore en Korea doen het beter (De Meyer et. al., 2013). Voor *probleemoplossend denken* scoort 18,0% van de Vlaamse 15-jarigen toppers, wat 6,6% meer is dan het internationale gemiddelde en enkel overtroffen wordt door Korea, Japan, Singapore en China (De Meyer et. al., 2014). Ook als het om wetenschapsonderwijs gaat, mag Vlaanderen zich onder de beste regio's van

Europa profileren: 12,2% toppresteerders (tegenover 8,4% internationaal) (De Meyer et. al, 2014). Hoe komt het dan dat zo weinig jongeren kiezen voor STEM na het Secundair Onderwijs?

2. Wetenschappen & wiskunde: niet relevant?

Aangezien keuze, naast socio-economische aspecten, vooral ook uit persoonlijke interesse voortvloeit, en het gebrek aan interesse voor STEM bij jongeren een internationaal fenomeen bleek, werd door de universiteit van Oslo een grootschalige studie opgezet: de ROSE-studie (Relevance of Science Education) (Sjøberg & Schreiner, ROSE, 2010). In deze studie werden jongeren tot 15 jaar van over de hele wereld ondervraagd over hun interessegebieden en werd gepeild naar hun mening over stellingen in verband met hun lessen wetenschappen op school. Hieruit bleek dat in Europa bij de schoolgaande jeugd bitter weinig interesse is in wetenschappen. Bovendien geven de jongeren aan dat de lessen wetenschappen, zoals ze die op school krijgen, hen geen inzicht geven in het belang ervan voor de maatschappij of enig uitzicht op een spannende carrière in die richting. De jongeren zijn zich wel degelijk bewust van de persoonlijke impact die zij op de natuur en samenleving kunnen uitoefenen, maar beseffen niet dat wetenschap en technologie een cruciale rol spelen in het oplossen van ecologische en maatschappelijke problemen (Sjøberg & Schreiner, ROSE, 2010). Mogelijks ligt de oorzaak van dit gebrek aan gepercipieerde relevantie van wetenschappen bij het huidige curriculum. Het wordt alvast aangehaald als één van de grootste belemmeringen voor het kiezen van een studierichting of een job in wetenschappen, wiskunde of techniek (Strategisch plan STEM van de Vlaamse Overheid, 2012).

Leerinhouden wiskunde, fysica, biologie en chemie worden in de sterk wetenschappelijke richtingen van het Secundair Onderwijs, vanwege de aparte leerplannen en vakken, vaak geïsoleerd van elkaar onderwezen, waarbij de link tussen deze verschillende vakken ontbreekt. Wetenschappelijke topics kunnen daarenboven, meer dan nu het geval is, betrokken worden in een groter kader rond technologische ontwerp opdrachten. Tenslotte bestaan er erg veel linken. Wiskunde is bijvoorbeeld de taal bij uitstek om binnen wetenschappelijke context te communiceren. Met behulp van wiskundige modellen beschrijven mensen wetenschappelijke fenomenen, en ze baseren zich op wiskundige berekeningen om technische systemen te bouwen. Mechanica vindt dan weer mooie toepassingen in de medische wereld, waar bijvoorbeeld exoskeletten ontworpen worden om het menselijke lichaam te ondersteunen, systemen die trouwens gebaseerd zijn op biologische verschijnselen in de dierenwereld. Dergelijke link tussen wiskunde, wetenschappen en technologie wordt echter zelden gelegd. Opdat jongeren uit

interesse en om de juiste redenen voor een STEM-richting zouden kiezen, is het volgens ons dus van cruciaal belang aan te tonen dat wetenschappen, wiskunde en technologie in praktijk ook interdisciplinair te werk gaan.

3. Didactiek voor abstracte, geïntegreerde STEM: een visie

Er is dus nood aan een nieuwe didactiek, waarin *integratie van STEM* het sleutelwoord vormt. Over de eeuwen heen hebben wetenschappen, technologie, engineering en wiskunde hun eigen kennisgebied uitgediept en uitgebreid. Het zal meer vergen dan een vierletterwoord alleen om deze disciplines samen te brengen (Sanders, 2009). Wij zijn ervan overtuigd dat de sleutel tot het motiveren van jongeren voor STEM ligt in de integratie tussen wiskunde, de verschillende wetenschappelijke domeinen, en technologie.

Geïntegreerde STEM-didactiek pleit er echter niet voor de vakken apart af te schaffen, integendeel. Ook het abstracte denkvermogen en de inzichten binnen elk vakdomein moeten versterkt worden. Een diepe en brede kwaliteitsvolle wetenschappelijke-wiskundige-technologische opleiding vormt STEM-competente jongeren, die als kritische en vaardige burgers in de moderne samenleving staan, die probleemstellingen gerelateerd aan milieu, gezondheidszorg en energie niet uit de weg gaan, maar de uitdaging durven aangaan!

Een didactiek van abstract, geïntegreerd STEM-onderwijs zoals wij ze willen ontwikkelen, heeft als opzet het verhogen van de STEM-geletterdheid bij scholieren en een correcte beeldvorming van wat het uitoefenen van een STEM-beroep precies inhoudt. Het volgen van deze didactiek zou de leerlingen in staat moeten stellen wetenschappelijke experimenten of technische realisaties praktisch te kunnen uitvoeren, maar moet hen ook het vermogen bieden om abstract te kunnen denken. Hopelijk helpt dit de leerlingen om daarna een gerichte studiekeuze te maken, al dan niet voor een STEM-richting, maar gestoeld op de juiste argumenten.

Concreet schuiven we volgende uitgangspunten naar voor:

- Vertrekken van contextgebonden situaties en probleemstellingen

- Operationaliseren van wetenschappen en wiskunde in functie van techniek en van elkaar
- Abstraheren en modelleren
- Playing *the whole game* in een junior versie

Deze punten worden nu één voor één verduidelijkt.

Vertrekken van contextrijke situaties en probleemstellingen

Vanuit de vaststelling dat leerlingen de relevantie van STEM onvoldoende inzien, wil de geïntegreerde STEM-didactiek vertrekken vanuit *contextrijke, authentieke leeromgevingen*. Het spreekt voor zich dat deze best zo dicht mogelijk aanleunen bij de echte leefwereld van de jongeren. Hun motivatie voor STEM wordt intrinsiek wanneer ze het gevoel hebben dat hetgeen waar ze mee bezig zijn, bijdraagt tot hun persoonlijke interesse en ontwikkeling en die van de wereld rondom zich. Waarom laten we leerlingen bijvoorbeeld eens geen – weliswaar wiskundig of wetenschappelijk relevante – app programmeren die ze kunnen afspelen met hun smartphone?

Ook voor geïntegreerd STEM-onderwijs ligt de basis bij de *sociaal-constructivistische benadering*, die stelt dat leerstof beter niet passief wordt ingepompt, maar in de hoofden van leerlingen actief geconstrueerd moet worden in een sociale leeromgeving. Er wordt voortgebouwd op concepten en inzichten die ze reeds eerder verworven hebben, vertrekkende vanuit modellen die ze begrijpen en daarin bijgestaan door leerkrachten en medeleerlingen (Van der Sanden, 2001). Concreet willen we inwerken op de *zone van naaste ontwikkeling* van de leerling (Vygotsky, 1978). De zone van naaste ontwikkeling is het verschil tussen wat de leerling al autonoom kan en wat hij of zij kan in interactie met een bekwamer persoon. Met net voldoende ondersteuning, in het Engels aangeduid met de term *scaffolding*, kan een leerling bijvoorbeeld al gauw extrapolaties van zijn of haar kennis maken. Dit geldt bijvoorbeeld voor de overgang van eendimensionale problemen naar tweedimensionale, zodat 2D niet als een heel nieuw concept moet worden voorgesteld als leerlingen de wiskundige vergelijkingen voor 1D reeds kunnen opstellen. Een ander voorbeeld: het concept ‘versnelling’ komt in de huidige curricula veel later aan bod dan de concepten ‘positie’ en ‘snelheid’. Zo vervreemden leerlingen van dit concept, terwijl ze verandering over een tijdsinterval kennen van het concept snelheid, en dus is de verandering van de verandering over een tijdsinterval (versnelling) slechts één stap verder. Dit perspectief biedt bovendien een ideale gelegenheid om reeds op een intuïtieve, operationele manier het begrip ‘afgeleiden’ te introduceren. Zo willen we op een hoger tempo dan dat van de huidige curricula, voortschrijdende zones van naaste



ontwikkeling creëren, waarbij de leerling zelf actief kennis en inzichten opbouwt in STEM waardoor de ondersteuning, het 'zetje' dat de leerkracht moet geven, steeds kleiner wordt.

Een robuuste, contextrijke leeromgeving wordt bovendien gecreëerd door het inbouwen van *wetenschappelijk onderzoek in de context van technologische problem-solving*: beroep doen op wetenschappelijke en wiskundige inzichten om oplossingen te ontwikkelen voor een levensecht ontwerpprobleem met een maatschappelijk, medisch of ecologisch nut en de werking van het ontwerp testen op de impact van externe variabelen (Sanders, 2009). Het ontwerp van een zonneboiler is zo'n voorbeeld: we vragen aan de leerlingen om een manier te bedenken om water te verwarmen via groene energie. De leerlingen gaan op zoek naar wat de basisprincipes zijn achter bestaande zonneboilers. Vervolgens zoeken ze benodigdheden en vereisten om er één in elkaar te zetten. Na het bouwen meten de leerlingen de temperatuursverhoging van het water en de invallende warmte op. Begrippen als soortelijke warmte en temperatuur worden geïntroduceerd. Tenslotte moeten ze hun wiskundige inzicht aanspreken om met de gemeten waarden het rendement van de zonneboiler te berekenen. Gebaseerd op hun eigen observaties en berekeningen komen de leerlingen tot de conclusie dat ze hun ontwerp zo kunnen aanpassen dat ze het rendement van hun zonneboiler nog kunnen verhogen door het warmtewisselend oppervlak te vergroten. Door de jongeren te laten vertrekken van een contextrijke of relevante opdracht, behoefte of uitdaging, hopen we hen te motiveren om op deze manier het gehele technische proces te doorlopen. In de literatuur wordt verwezen naar *Flexibly Adaptive Design* (Schwartz et al., 1999) om naast een grondig begrip van de verschillende kennisdomeinen, ook vaardigheden als probleemoplossend denken aan te kweken. Ook in samenwerking met bedrijven kunnen interessante ontwerp- of onderzoeksopdrachten uitgeschreven worden. De opdracht of probleemstelling is dan automatisch gekaderd in een relevante context die de curiositeit van de leerlingen opwekt en hen stimuleert om kritisch te zijn tegenover hun eigen werk.

Operationaliseren van Science (S) & Math (M) in functie van Technology (T) en van elkaar

Leerlingen kunnen van bij de start van hun opleiding bewust gemaakt worden van het onlosmakelijke verband tussen Wiskunde (Math) en Wetenschappen (Science). Zo hoeft men zich in de les fysica niet in allerlei bochten te wringen om wiskundige uitwerkingen te vermijden, en kan men wiskundige concepten illustreren met wetenschappelijke toepassingen. De nieuwe didactiek zal leerlingen moeten tonen dat wetenschappen (S) gebruik maakt van wiskunde (M), en dat S en M samen kunnen ingezet worden voor het beschrijven, ontwerpen en valideren van technische systemen (T). Dit is een integraal proces, dat op zijn beurt *engineering* (E) heet.

We illustreren dit met een concreet voorbeeld: Nadat leerlingen de fysische betekenis en het wiskundige model van een geluidsgolf bestudeerd hebben, zien ze dat de biologische opbouw van het menselijke oor gebruik maakt van principes die door de wiskundige Fourier op de kaart zijn gezet. Wanneer ze deze inzichten samenbrengen en er abstractie van maken door middel van modellering in blokdiagrammen, kunnen ze zelf de basiswerking van een technologisch hulpmiddel zoals een cochleair implantaat simuleren (De Meester et al., 2013).

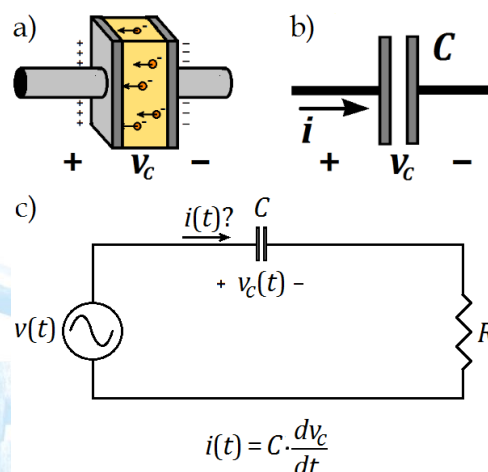
We denken dat het belangrijk is dat wiskunde tijdens dit engineering-proces als centrale woordenschat wordt gebruikt. Wiskunde kan ingezet worden om wetenschappelijke fenomenen te modelleren. Het moet duidelijk zijn dat voor de leerlingen met sterk abstraherend vermogen op wie we ons richten in dit STEM-verhaal, niet ingeboet wordt aan het niveau van wiskunde en wetenschappen op zich.

Niet enkel om extroverte redenen (de link tussen de verschillende STEM-domeinen), maar ook om introverte redenen is integratie van belang: leerlingen moeten ook binnen wiskunde of binnen een bepaalde wetenschap zelf, de transfer kunnen maken van concepten om zo hun eigen inzichten binnen die wetenschap te versterken. Op deze manier garandeert de vernieuwende STEM-didactiek dat de wetenschappen voldoende op zichzelf blijven (be)staan, en daarnaast dat hun relatie ten opzichte van andere disciplines zichtbaar wordt. De extroverte manier van integreren spreekt de ingenieurs in spé aan: hoe kan ik wetenschappen aanwenden om aan die bepaalde behoefte of nood te voldoen? De introverte integratie is voor toekomstige wetenschappers onontbeerlijk: zij zijn geïnteresseerd in hoe ze de natuur in modellen kunnen grijpen en bestuderen om zo meer kennis over die natuur te genereren.

Abstraheren & modelleren

Werken met de (technisch-wetenschappelijke) realiteit op verschillende niveaus van abstractie is één van de belangrijkste werkwijzen binnen engineering. Binnen een systeem kunnen complexe onderdelen, omdat hun aparte werking in die bepaalde context irrelevant is of de analyseodeloos bemoeilijkt, samengenomen worden onder één noemer: een *blackbox*. Wanneer een ingenieur het gedrag van een systeem wil voorspellen, volstaat het op een bepaald niveau enkel de in- en uitgangssignalen en eventueel de transferkarakteristieken van de blackbox te bestuderen. Abstraheren is het vervatten van subsystemen in blackboxen en wiskundige vergelijkingen tijdens het modelleren. De kunst bestaat erin modellen zo eenvoudig mogelijk te maken maar toch nog relevant en nauwkeurig genoeg voor het beschouwde probleem.

Om dit te illustreren, kan een eenvoudig voorbeeld uit de elektriciteit genomen worden. Een condensator is een elektrische component die bestaat uit twee geleidende plaatjes die zich dicht bij elkaar bevinden, maar van elkaar gescheiden worden door een niet-geleidend materiaal, bv. keramiek.



Figuur: Condensator: van lager naar hoger abstractieniveau:

- a) voorstelling fysische werking, b) meer symbolische voorstelling,
- c) gebruik en eigenschappen in een elektrisch circuit

Op atomair niveau – een lager abstractieniveau – betekent dit, dat wanneer de ene geleidende plaat positief geladen wordt ten opzichte van de andere, elektronen die aan de atomen in het niet-geleidende materiaal gebonden zijn, zich verplaatsen naar de kant van het positief geladen plaatje en zo een kettingreactie veroorzaken bij de elektronen van de naburige atomen binnen het niet-geleidende materiaal. We kunnen zo'n condensator echter ook op een hoger abstractieniveau als een blackbox gaan voorstellen, door middel van een symbool en enkele bepalende eigenschappen: de condensator is een component waarbij de elektrische stroom (i) erdoor evenredig is met de snelheid waarmee de spanning erover (v_C) verandert in de tijd (t). Dit resulteert tenslotte in een formule waarmee we verder werken in het berekenen van bijvoorbeeld de elektrische stroom in een elektrisch circuit. Er is dus een hogere abstractie gemaakt van de fysica van de component om er op dit nieuwe niveau berekeningen mee te maken.

Wanneer leerlingen zelf zo'n modellen kunnen opstellen en bekwaam zijn om op het juiste moment te beslissen wanneer ze zich een abstractieniveau hoger of lager moeten begeven, zal de STEM-didactiek al voor een groot deel in haar opzet geslaagd zijn.

Afhankelijk van de leerwijze van leerlingen, het onderwerp en de context, zullen bepaalde leerinhouden de ene keer vanuit abstract naar concreet niveau aangebracht worden (van de theorie naar een concrete toepassing), de andere keer omgekeerd (vanuit een levensechte toepassing naar de abstracte vertaling). Zo hoopt de STEM-didactiek ook de leerlingen mee te krijgen die door de huidige didactiek niet meteen aangesproken worden, terwijl ze wel over het nodige potentieel beschikken.

The whole game in a junior version

Een andere kerngedachte achter geïntegreerde STEM, is *playing the whole game* (Perkins, 2009). Perkins beschrijft elke manier van leren als het spelen van een spel. Hij raadt de leraren aan het spel het spelen waard te maken, hetgeen dan weer teruggeleid kan worden op dat essentiële aspect van relevantie.

Het volledige spel spelen, houdt in dat de leerlingen niet enkel inzoomen op kleine stukjes informatie, maar dat ze ook het grotere geheel zien en begrijpen hoe alles samenwerkt in een groter systeem. Al te vaak moeten leerlingen leerstofinhouden bestuderen als geïsoleerde puzzelstukjes, zonder dat hen de doos van de puzzel wordt getoond. Zo kan je met AND- en OR-poorten heel wat meer doen dan ze op grote blauwe panelen met elkaar verbinden. Schakel ze op een slimme manier achter elkaar en je kan een intelligent systeem bouwen dat een Legotrein doet rijden en stoppen op de momenten dat jij dat wil. Het is systeemdenken, maar op niveau van

de leerlingen, in een *junior version*. Zo kunnen jongeren zich op hun 13 jaar reeds een echte ingenieur wanen (Dehaene et al., 2013).

Zoals een spelteam ook wel eens op verplaatsing moet spelen, zo ook moeten leerlingen hun verworven inzichten in één domein leren transfereren naar andere domeinen. Zo is thermische geleiding, op een constante na, niet verschillend van elektrische geleiding als je het schematisch bekijkt: de elektrische stroom door een weerstand en spanning erover kunnen dan vervangen worden door resp. de warmtestroom door een wand en het temperatuurverschil aan beide kanten van de wand. De elektrische weerstand wordt dan de thermische weerstand van de wand. Geïntegreerd STEM-onderwijs zal pas succes vol zijn als leerlingen zulke transfer zelf kunnen maken.

4. Project STEM@school

Op 1 juni 2014 is het project STEM@school van start gegaan. STEM@school is een Strategisch Basisonderzoek van vier jaar, hetgeen impliceert dat niet alleen de geïntegreerde STEM-didactiek met de uitgangspunten die we in dit artikel presenteerden, zal worden uitgerold, maar ook dat de effectiviteit ervan zal worden gemeten. Een strategie van implementeren is volop in ontwikkeling.



Figuur: Logo STEM@school-project

Hoger en Secundair Onderwijs slaan de handen in elkaar

Om een STEM-curriculum en het nodige didactische materiaal uit te werken, lijkt het ons absoluut van belang dat het Secundair Onderwijs en het Hoger Onderwijs banden smeden. In het Secundair Onderwijs zijn leerkrachten experts inzake hun vakgebied, de reeds bestaande leerplannen en het leerlingenniveau waarmee ze

geconfronteerd worden. Hogescholen en universiteiten hopen op hun beurt STEM-vaardige leerlingen te mogen verwelkomen aan de startmeet van hun STEM-opleidingen en worden vaak geconfronteerd met misconcepties rond wetenschappelijke thema's bij studenten. In technologische en engineering-aspecten kunnen ze dan weer de expertise aanbieden die in het ASO nog vaak te beperkt is. Bovendien kan het Hoger Onderwijs een raamwerk bieden om de effectiviteit van de doorgevoerde, vernieuwende didactiek te onderzoeken en te meten in termen van STEM-geletterdheid en attitude van jongeren tegenover STEM.

Zo'n samenwerkingsverband als in STEM@school tussen leerkrachten en onderzoekers kan zeer nuttig en boeiend zijn. Niet alleen bevordert het verdere integratie, maar het biedt ook nieuwe inzichten bij beide partijen. De onderzoekers en leerkrachten die zich voor STEM@school engageren, geven alvast aan dat het verrijkend is om vak- én schooloverschrijdend met elkaar in dialoog te gaan.

Invulling van een geïntegreerd STEM-curriculum

Als invulling voor het verwezenlijken van STEM-doelstellingen als modelleren, abstraheren en probleemoplossend denken, werd gekozen voor weloverwogen, logisch opgebouwde inhoudelijke leerlijnen die de mogelijkheid bieden om de reeds omschreven didactische aspecten en competenties in te bouwen. Hier geven we er enkele van als voorbeeld.

Mechanica, als één van de meest aanschouwelijke delen van de fysica, biedt veel mogelijkheden om abstracte wiskundige concepten als functie, grafiek, raaklijn en afgeleide, in een operationele vorm aan te brengen, die bovendien ook nog intuïtief te vatten is door de leerlingen. Leerlingen leren niet alleen omgaan met verschillende voorstellingen van eenzelfde set data, ze kunnen ze ook zelf voorstellen, analyseren en interpreteren aan de hand van wiskundige modellen zoals grafieken en vergelijkingen. Ze krijgen een beter begrip van hetgene waar ze mee bezig zijn: wanneer het verschil in afgelegde afstand per tijdsinterval kleiner wordt, betekent dit een daling in de tijd van de snelheidsgrafiek, oftewel dat er een vertraging plaatsvindt. Wanneer leerlingen dit beheersen, is, zoals reeds vermeld, het intuïtieve begrip van het concept 'afgeleiden' niet meer veraf. Uiteraard is het belangrijk om te testen of de leerlingen ook de transfer maken van deze concepten naar andere wetenschappelijke contexten, zoals bijvoorbeeld in het beschrijven van processen uit de biologie of thermodynamica. Doen ze daarbij beroep op dezelfde manier van abstraherend denken?

Ook algoritmisch denken en logisch redeneren zijn vaardigheden die niet mogen ontbreken in de toolbox van de leerlingen tijdens het uitvoeren van STEM-activiteiten. Een concrete manier om deze vaardigheden aan te leren, is via

programmeren. Daarin leren de leerlingen concepten gebruiken als variabelen, lussen, voorwaarden, cases, die in latere fases inzetbaar zijn om modellen te maken en machinetoestanden te beschrijven en te manipuleren. Bovendien kan het programmeren van robotjes voor leerlingen erg motiverend werken.

Daarnaast is het van belang om leerlingen *ontwerpproblemen* in hun volle glorie voor te leggen: de jongeren moeten aan de slag kunnen gaan met een vraag vanuit een behoefte of nood aan een technische oplossing, een eisentabel en gegeven materiaal. Ze leren ontwerpen voorstellen vanuit creatieve ideeën, en maken door middel van metingen en berekeningen de uiteindelijke realisatie. Daarbij moet te allen prijze vermeden worden dat leerlingen enkel de handleiding van een bouwpakket volgen en allemaal met hetzelfde resultaat eindigen. Ook zelf verstandige experimenten leren opzetten, behoort tot de leerlijn ontwerpen. Door opdrachten en onderzoeksvragen met een open einde te voorzien, waarvan leerling noch leerkracht het uiteindelijke resultaat vooraf kent, hoopt de nieuwe didactiek creativiteit en inzichtelijk denken aan te wakkeren bij leerlingen (en leerkrachten). Tijdens de uitvoering zullen leerlingen kritisch moeten nadenken tegenover hun eigen werk. Maar ook leren omgaan met mislukkingen en deze in leerkansen omzetten, hoort daar af en toe bij.

De uitbouw van een STEM-curriculum voor het Secundair Onderwijs is momenteel onder constructie. Zeker is dat de complexiteit sterk zal toenemen: in abstractieniveau, in aantal betrokken wetenschapsdisciplines (het blijft uiteraard niet bij mechanica alleen), en in moeilijkheidsgraad binnen de wiskunde en wetenschappen. Starten doen we in de tweede graad, aangezien de leerlingen daar reeds over een wiskundige basisinstrumentarium beschikken, om vervolgens naar de eerste en naar de derde graad uit te breiden.

Planning van STEM@school

In het academiejaar 2014-2015 wordt binnen het kader van het STEM@school-project het didactisch materiaal en de leeromgeving voor geïntegreerde STEM-lessen ontwikkeld. Dit gebeurt door acht scholen (of scholengemeenschappen), opgesplitst

in vier clusters, samen met een onderzoeksteam van de KU Leuven en onder begeleiding van de onderwijskoepels VVKSO en GO!. Onder deze clusters bevinden zich scholen die algemeen-vormende richtingen aanbieden (wetenschappen, wiskunde, latijn), alsook scholen die de richting Industriële Wetenschappen binnen hun programma aanbieden (met wetenschappelijke en technologische vakken). In het academiejaar 2015-2016 wordt de didactiek uitgetest in deze sterk wiskundig/wetenschappelijke richtingen in 20 testscholen van over heel Vlaanderen. De Universiteit van Antwerpen ontwikkelt meetinstrumenten, met name pre-, tussentijdse en posttesten, om de verandering in termen van STEM-geletterdheid en attitude tegenover STEM bij de leerlingen na te gaan. Op langere termijn hoopt het STEM@school-project ook in de lerarenopleidingen de expertise in techniek en engineering en een geïntegreerde aanpak te stimuleren en te realiseren.

Conclusie

Dit artikel wil de nood aan een vernieuwende didactiek voor abstracte, geïntegreerde STEM aankaarten en een mogelijk pad belichten dat daartoe kan leiden. We stelden de belangrijkste principes waarop deze didactiek steunt voor. In kernwoorden kan men deze omvatten als: relevantie, integratie, modelleren en abstraheren. Het doel is de STEM-geletterdheid, in de breedste zin van het woord, bij leerlingen die hiervoor potentieel hebben, te verhogen. Het is nu zaak om dit ook in praktijk te brengen. Een leerrijke manier om deze didactiek te ontwikkelen en te implementeren, is in samenwerkingsverband tussen leerkrachten uit het Secundair Onderwijs en onderzoekers uit het Hoger Onderwijs. De eerste, nodige acties daartoe zijn opgestart binnen het SBO-project STEM@school.

Literatuur

(2012) Strategisch plan STEM. *Vlaamse Overheid*

Dehaene, W., Decuyper, J., Goddé, N. (2013) When Engineering becomes Children's playground. *Proceedings of the 41st SEFI Conference*

De Meester, J., Batselier, K., Koolen, N., Hunyadi, B., Decuyper, J., Vanden Bosch, E., Vandewalle, J., Dehaene, W. (2013) The mathematics in your ears. *41th SEFI Conference*.

De Meyer, I., Warlop, N., Van Camp, S. (2013) Wiskundige geletterdheid bij 15-jarigen – Vlaamse resultaten van PISA2012. *Universiteit Gent vakgroep Onderwijskunde*

De Meyer, I., Warlop, N., Van Camp, S. (2014) Probleemoplossend vermogen bij 15-jarigen – Vlaamse resultaten van PISA2012. *Universiteit Gent vakgroep Onderwijskunde*

De Meyer, I., Warlop, N., Van Camp, S. (2014) Wiskundige geletterdheid bij 15-jarigen. Overzicht van de eerste Vlaamse resultaten van PISA2012 (Samenvattende brochure). Brussel: *Departement Onderwijs en Vorming, Afdeling Strategische Beleidsondersteuning*

Perkins, D. (2009) *Making learning whole*. San Francisco: Jossey-Bass

Van der Sanden, J.M.M. (2001) *Opleiden vanuit een constructivistisch perspectief*. Uitgeverij Samson

Sanders, M. (2009) STEM, STEM Education, STEMmania. *The Technology Teacher*

Sjøberg, S., Schreiner, C. (2010) The ROSE project. *University of Oslo*

Stohlman, M., Moore, T.J., Roehrig, G.H. (2012) Considerations for Teaching Integrated STEM Education. *J-PEER* Vol. 2, I. 1

Van den Berghe, W., De Martelaere, D. (2012) Kiezen voor STEM. *VRWI*

Vygotsky, L. (1978) *Mind and society*. Cambridge: Harvard University Press, 79-91

Schwarz, D., Lin, X., Brophy, S., Bransford, J. (1999) Toward the development of flexibly adaptive instructional designs. In C. Reigeluth (Ed.), *Instructional design theories and models* Vol.2, 183-213

<http://www.vacature.com/carriere/solliciteren/Veel-gezocht-moeilijk-te-vinden-de-10-grootste-knelpuntberoepen>

<http://www.vacature.com/artikel/de-5-meest-gevraagde-jobprofielen-van-het-moment>

